HAETIGKEIT

NIEDERER

RGANISMEN.

WOLLNY.

QL1.77
W83

No.

DEPARTMENT OF

619.77 W83

LIBRARY OF THE

Agricultural Experiment Station,

UNIVERSITY OF ILLINOIS.

Books are not to be taken from the Library Room.

631

614.77
K631

Ueber die

Thätigkeit niederer Organismen

im

Boden.

Vortrag, gehalten am 30. Juni 1883 auf der hygienischen Ausstellung in Berlin

von

Dr. Ewald Wollny,
ord. Professor an der Königl. bayer. technischen Hochschule in München.

Separatabdruck aus der „Deutschen Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege".

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1883.

Digitized by the Internet Archive
in 2017 with funding from
University of Illinois Urbana-Champaign Alternates

https://archive.org/details/uberthatigkeitni00woll

Das Studium der endemisch und epidemisch auftretenden Krankheiten hat eine Reihe von Thatsachen zu Tage gefördert, welche wohl kaum mehr einen Zweifel daran aufkommen lassen, dass zwischen dem Boden und dem Auftreten und der Verbreitung einzelner Infectionskrankheiten ein inniger Zusammenhang besteht, der auf eine Reihe von Vorgängen innerhalb des Bodens zurückzuführen ist. Wenn diese Annahme nach den bisher gewonnenen Erfahrungen und Beobachtungen auch als eine sicher festgestellte angesehen werden muss, so ist doch noch keineswegs die Rolle, welche dem Boden in ätiologischer Beziehung zuertheilt ist, in dem Grade ergründet, dass es in allen Fällen möglich ist, die einzelnen Factoren genau zu sondern und nach ihrer Wirkungsweise bestimmt zu präcisiren. Die Ursache des verhältnissmässig langsamen Fortschreitens unserer Erkenntniss in dieser Richtung ist vorzüglich dem Umstande beizumessen, dass die Processe im Boden aus einer Complication verschiedener, sich theils unterstützender, theils gegenseitig aufhebender Ursachen herrühren und dass es in Folge dessen die grössten Schwierigkeiten bereitet, die einzelnen Agentien herauszufinden und den einem jeden von ihnen allein zukommenden Effect isolirt zu studiren. Trotz solcher Unzulänglichkeiten wird die wissenschaftliche Forschung behufs Gewinnung einer richtigen Auffassung der dem Boden in hygienischer Hinsicht zuertheilten äusserst complicirten Rolle nur dann zu einem sicheren Ziele gelangen, wenn zunächst die Wirkung der einzelnen isolirten Factoren erst weiterhin, im Anschluss an die gewonnenen Resultate, die Gesammtwirkung derselben in gewissen näher bekannten Fällen festgestellt wird. Der entgegengesetzte, vielfach von der Wissenschaft betretene Weg hat häufig zu Irrthümern und zur Ausführung von Maassregeln geführt, die das Wohl des Einzelnen und ganzer Gemeinwesen empfindlich schädigten.

Soweit sich die Verhältnisse nach dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens überblicken lassen, ist die Frage nach dem Schicksale der im Boden vorhandenen oder demselben zugeführten organischen Substanzen eine der wichtigsten in der Hygiene des Bodens. Aus

A 453

diesem Grunde habe ich geglaubt, annehmen zu sollen, dass eine kurze Darstellung des Verlaufes der sogenannten organischen Processe im Boden an dieser Stelle nicht unwillkommen geheissen werden würde, zumal ich in der Lage bin, auf Grund vieljähriger Untersuchungen in bezeichneter Frage einige neue Gesichtspunkte aufzustellen und dadurch zur Klärung vielfach noch auseinandergehender Urtheile beizutragen.

Bekanntlich entstehen in dem porösen, der Luft zugänglichen Boden bei der Entmischung der organischen Substanzen unter gewissen Bedingungen Kohlensäure, Wasser, Ammoniak und geringe Mengen von freiem Stickstoff. Dass dieser Process als ein Oxydationsprocess aufzufassen ist, ergiebt sich nicht allein aus der einfachen Erwägung, dass der in der organischen Substanz enthaltene Sauerstoff zur Oxydation des Kohlenstoffs nicht genügen würde, sondern auch aus der zuerst von Lévy und Boussingault[1]) gemachten und neuerdings von Fleck[2]) und v. Foder[3]) bestätigten Beobachtung, dass die Bodenluft in dem Maasse sauerstoffärmer, als sie kohlensäurereicher ist, so dass das Volumen der Kohlensäure und des Sauerstoffs immer ziemlich genau dasselbe bleibt.

Die Oxydation (langsame Verbrennung oder Verwesung) der organischen Stoffe im Boden ist nach den vorliegenden Versuchen kein rein chemischer Process, wie v. Nägeli[4]) annimmt, sondern zum grössten Theil an die Thätigkeit niederer Organismen gebunden.

Der Nachweis der Betheiligung niederer Organismen an den im Boden vor sich gehenden Oxydationsprocessen wurde zuerst von Schlösing und Müntz[5]) geliefert und zwar bezüglich der Umwandlung des bei dem Zerfall der organischen Substanzen sich bildenden Ammoniaks in Salpetersäure. Genannte Forscher haben dies dadurch nachzuweisen versucht, dass sie durch eine Bodenprobe, welche aus organischen Substanzen Nitrate in grosser Menge producirte, Chloroformdämpfe bliesen und dann Spüljauche aufgossen. Wurde die Nitrification durch Organismen bewirkt, so musste sie durch das Chloroform unterdrückt werden, weil dieses die Lebensthätigkeit niederer Organismen aufhebt; und dies war in der That der Fall. Das abfliessende Wasser enthielt Ammoniak in grosser Menge, aber die Nitrate und Nitrite waren vermindert. Das nächste Mal erhitzte

---

[1]) Ann. de Chim. et de Phys., III. Serie, T. 37 (1853), p. 1 bis 50.

[2]) Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. Von J. v. Fodor, Braunschweig, 1882, II. Abtheilung, S. 106.

[3]) Ibid., S. 107.

[4]) Die niederen Pilze, München, 1877.

[5]) Comptes rendus, 77. Bd., S. 203 und 353, 1877; 84. Bd. S. 301. — Vor ihnen hatten Pasteur und Alex. Müller die Vermuthung ausgesprochen, dass die Nitrification durch den Lebensprocess niederer Organismen vermittelt werde.

Schlösing den Boden bis auf 100 Grad, wonach derselbe keine Salpetersäure mehr producirte.

Waringtón[1]) bestätigte die von Schlösing und Müntz gemachte Angabe, dass Chloroform die Salpeterbildung hindere und wies ferner nach, dass Schwefelkohlenstoff dieselbe Wirkung hat, ebenso alle fäulnisshemmenden Mittel, welche auf organisirte Fermente vernichtend wirken. In gleicher Weise wurde der Befund, dass stark erwärmter Boden die Fähigkeit verliert, den Stickstoff zu oxydiren, durch bezügliche Versuche von v. Foder erhärtet.

Bei der mikroskopischen Untersuchung einer nitrificirbaren Erde konnten Schlösing und Müntz[2]) zwar zahlreiche niedere Organismen beobachten, aber selbst in solchen Mitteln, in welchen die Salpetersäurebildung sehr lebhaft war, gelang es nicht, ein eigenthümliches Wesen herauszufinden, dem man die gedachte Wirkung zuschreiben konnte. Man wählte daher zu den Versuchen wässerige Lösungen, in denen, wenn sie geeignet präparirt und gut gelüftet sind, die Nitrification sehr gut von Statten geht. Es wurden entweder geklärte oder sterilisirte Abfallwässer oder verdünnte alkalische Lösungen, die mit den nöthigen Mineralbestandtheilen, einem Ammoniaksalze und organischer Substanz versehen waren, in Anwendung gebracht. Die Flüssigkeiten waren so klar, dass man mit dem Mikroskope auch nicht einen einzigen organisirten organischen Körper wahrnehmen konnte, und blieben, nachdem sie auf 110 Grad erhitzt waren, eine unbegrenzt lange Zeit völlig unverändert. Brachte man aber eine Spur Erde hinein und gestattete man dem Sauerstoff (geglühte und filtrirte Luft) genügenden Zutritt, so begann nach wenigen Tagen bei geeigneter Temperatur die Nitrification. In diesem Zeitpunkte erblickte man unter dem Mikroskope zahlreiche längliche, sehr kleine Gebilde, welche eine grosse Aehnlichkeit mit den von Pasteur und früher schon von Koch und Cohn in den Wässern gefundenen glänzenden Körperchen (*corpuscules brillants*) hatten. Indem man solche in der Nitrification begriffenen Flüssigkeiten zur Aussaat in anderen sterilen Lösungen benutzte, erhielt man Flüssigkeiten, in denen sich Nitrate bildeten, ohne dass man andere als die genannten Organismen darin auffinden konnte. Es erscheint daher ausser allem Zweifel, dass dieser Organismus die Oxydation des Stickstoffs bewirkt und Schlösing und Müntz betrachten ihn desshalb auch als Salpeterferment. Dasselbe ist sehr verbreitet und selten findet man einen Boden, welcher für seine Aussaat ungeeignet wäre.

Die Oxydation des Kohlenstoffs der organischen Substanzen findet in dem durchlüfteten Boden in gleicher Weise wie die des Stick-

[1]) Landw. Versuchsstationen, Bd. XXIV, 1879, S. 161 bis 166.
[2]) Comptes rendus, 1879, 89. Bd., S. 891 bis 894.

stoffs unter der Mitwirkung niederer Organismen statt, sie vollzieht sich daher unter fast den gleichen Bedingungen wie die Nitrification. Der experimentelle Nachweis für die Betheiligung von Mikroorganismen bei der Kohlensäurebildung im Boden wurde zuerst von mir geliefert[1]). Als ich nach dem Vorgange von Schlösing und Müntz den Boden mit Chloroformdämpfen behandelte, sank die Kohlensäureproduction um ein sehr Erhebliches, ohne indessen vollständig aufzuhören. Dasselbe war der Fall, als ich dem Boden verschiedene fäulnisshemmende Substanzen zuführte, unter welchen sich die Carbolsäure, die Borsäure, das Thymol und das Benzol am wirksamsten erwiesen[2]). Durch länger andauernde Erhitzung auf 110 bis 115° C. wurde die Kohlensäureentwickelung gleichergestalt in ausserordentlichem Grade beschränkt, wenn auch nicht vollständig sistirt, eine Thatsache, die durch Versuche von von Fodor neuerdings bestätigt wird.

Aus dem geschilderten Verhalten des Bodens geht unzweifelhaft hervor, dass die Verbindung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff im Boden zum grössten Theile an die Thätigkeit niederer Organismen gebunden ist, zugleich aber auch, dass eine einfache langsame Verbrennung der organischen Substanz nebenher geht, deren Leistung indessen im Vergleich zu derjenigen jenes Processes, in Rücksicht auf die verhältnissmässig kleine Menge der bei der rein chemischen Bindung des Sauerstoffs gelieferten Kohlensäure, nur äusserst gering ist.

Wie die Salpeterbildung und zum grossen Theil auch die Kohlensäurebildung im Boden als physiologisch-chemischer Vorgang an die Entwickelung eines Organismus geknüpft ist, so ist auch der umgekehrte Vorgang, die Reduction der Nitrate, als ein physiologischer Process aufzufassen, der überall eintritt, wo Mangel an Sauerstoff herrscht. Bezüglich der Zersetzung der organischen Substanzen bei Luftabschluss war es schon lange bekannt, dass die Endproducte des Zerfalls unter solchen Verhältnissen ganz anderer Art sind, als bei ungehindertem Luftzutritt. Es bilden sich bekanntlich hierbei neben geringen Mengen von Kohlensäure und Kohlenwasserstoffen hauptsächlich Wasser, Ammoniak, freier Stickstoff und grössere Massen einer an Kohlenstoff reichen, schwärzlichen, torfähnlichen Substanz (sogenannter saurer Humus). Die im Boden vorhandene Salpetersäure erfährt unter den beschriebenen Umständen eine Reduction.

Schlösing hatte bereits in seinen älteren Versuchen gefunden, dass die Salpetersäure aus dem Boden verschwand, sobald er die Luft in demselben durch Stickstoff ersetzte. In neuester Zeit sind diese

[1]) Landw. Versuchsstationen, Bd. XXV, 1880, S. 390.

[2]) Die Resultate der bezüglichen Versuche werden demnächst in extenso in den „Landw. Versuchsstationen“ mitgetheilt werden.

Verhältnisse von Gayon und Dupetit[1]), sowie von Dehérain und Maquenne[2]) eingehender studirt worden. Erstere Forscher brachten Canalwasser, dem pro Liter 0·02 g Kalinitrat zugesetzt war, mit zersetztem Urin zusammen, das Nitrat verschwand nach und nach und die Flüssigkeit erfüllte sich mit mikroskopischen Organismen. Ganze Reihen von Culturen ermöglichten die Reducirung von 0·1 bis 0·2 g Nitrat im Liter. Ueber diese Grenze hinaus war das Canalwasser unzureichend; wenn aber dasselbe durch mit Kalilösung neutralisirte Hühnerbrühe versetzt wurde, konnte man bis 5 Proc. Nitrat gänzlich reduciren. Bei dieser Reduction der Nitrate entwickelte sich reiner Stickstoff, der einen grossen Theil des Stickstoffs der Nitrate ausmacht; der Rest bildete Ammoniak und vielleicht Amidoderivate der benutzten organischen Substanz. Der aus den Nitraten abgeschiedene Sauerstoff bildete Kohlensäure.

Die bei der Desoxydation der Nitrate sich entwickelnden Mikrobien sind die Ursache des geschilderten Processes, da die Flüssigkeit klar blieb, wenn sie bei höherer Temperatur sterilisirt oder mit Chloroform und Kupfersulfat versetzt worden war. In Berührung mit atmosphärischer Luft wirken diese Organismen entweder gar nicht oder nur in geringem Grade.

Dass der beschriebene Reductionsprocess auch im Boden vor sich geht, haben die Versuche von Dehérain und Maquenne erwiesen. Es zeigte sich nämlich, dass in einer an organischen Substanzen und Nitraten armen Erde kein Gas gebildet wird, dass aber bei dem Vorhandensein grösserer Mengen von organischen Stoffen und Nitraten die Reduction der letzteren sofort eintritt und Kohlensäure und Stickstoff in beträchtlicheren Quantitäten entwickelt werden. Eine genauere Untersuchung des Gasgemisches ergab, dass unter bestimmten, noch nicht näher festgestellten Bedingungen neben dem Stickstoff gewisse Mengen von Stickoxydul entstanden waren.

Ausser den vorbezeichneten Mikroorganismen treten, nach den neuesten Untersuchungen von Gayon und Dupetit[3]), auch verschiedene Formen solcher auf, welche den Nitraten nur zwei Drittel ihres Sauerstoffs entziehen, d. h. sie in Nitrite verwandeln. Eine gleiche, wenn auch schwächere Wirkung soll nach denselben Forschern dem Mikrobion der Hühnercholera, der Milzbrand- und septischen Bacterie zukommen.

Aus den in Kürze mitgetheilten Daten dürfte sich die Thatsache, dass die Zersetzungsprocesse der organischen Substanzen des Bodens durch den Lebensprocess niederer Organismen

---

[1]) Comptes rendus, 1882, T. XCV, p. 644.
[2]) Ibidem p. 691 und Annales agronomiques, 1883, T. IX, Fasc. I.
[3]) Comptes rendus, 1882, T. XCV, p. 1365.

vermittelt werden, mit genügender Sicherheit ergeben. In Anbetracht der ungeheuren Zahl, in welcher diese kleinsten Wesen im Boden auftreten, wird weiter der Schluss abgeleitet werden können, dass deren Thätigkeit eine sehr umfangreiche sein muss. In seinen diesbezüglichen Untersuchungen fand Koch [1]) selbst im Winter eine reichliche Menge niederer Organismen in verschiedenen Bodenproben, welche sowohl von dichtbevölkerten Stellen (Berlin), als auch von entfernt gelegenen Aeckern entnommen waren und die am Observatorium in Montsouris (Paris) angestellten Beobachtungen [2]) zeigen, dass die Zahl der Bacterienkeime im Boden eine ganz ungeheure ist. So enthielt 1 g Erde von Grasflächen im Observatorium 750 000, in Gennevilliers 870 bis 900 000 Keime.

Ueber die Natur der betreffenden Mikroorganismen lässt sich vorläufig noch keine bestimmte Vorstellung gewinnen, weil die bisherigen Beobachtungen noch durchaus unzulänglich sind. Sowohl nach den mikroskopischen Analysen Koch's als Miquel's sind die Spaltpilze, und unter diesen die Bacillen in den oberen Schichten des Bodens vorherrschend. In ungleich geringeren Mengen sind Mikrokokken und andere Bacterien, sowie Schimmelpilze gefunden worden. Das Verhältniss, in welchem die einzelnen typischen Arten im Boden auftreten, mag auch, wie aus den classischen Untersuchungen von v. Nägeli's [3]) geschlossen werden kann, je nach äusseren Umständen einem grossen Wechsel unterliegen. So lange der Zutritt der Luft zum Boden ein ungehinderter ist, werden die Schimmelpilze, die wahrscheinlich die langsame Verbrennung der organischen Substanzen zu unterhalten haben, überwiegen, während in dem spärlich durchlüfteten oder von der Luft vollständig abgeschlossenen Erdreich die Spaltpilze vorzugsweise oder ausschliesslich zur Entwickelung gelangen werden. Dass auch die dritte der von v. Nägeli unterschiedenen Pilzgruppen, die der Sprosspilze in dem Boden angetroffen wird, will ich der Vollständigkeit wegen anzuführen nicht unterlassen. Müntz [4]) hat nämlich die Entdeckung gemacht, das Alkohol in Gartenerden und in Böden, die reich an organischen Substanzen sind, in nicht unbedeutenden Mengen vorkommt, und zwar waren letztere so gross, dass man den Alkohol extrahiren und seine wesentlichen Eigenschaften nachweisen konnte. Da die Alkoholbildung nur durch die Thätigkeit der Sprosspilze vermittelt wird, so muss angenommen werden, dass auch diese Organismen im Boden vorkommen.

Nachdem ich in dem Bisherigen die für die Betheiligung niederer Organismen an den organischen Processen im Boden in Betracht

---

[1]) Mittheilungen aus dem kaiserlichen Gesundheitsamte, I. Band, Berlin, 1881, S. 34.
[2]) Extr. de l'Annuaire de Montsouris pour 1882, p. 118 u. ff.
[3]) Die niederen Pilze, München, 1877.
[4]) Comptes rendus, T. XCII, p. 499.

kommenden Thatsachen vorausgeschickt habe, fällt mir nunmehr die Aufgabe zu, die hierbei in die Erscheinung tretenden einzelnen Factoren näher zu kennzeichnen. Aus den bekannten Beziehungen, welche zwischen den äusseren Lebensbedingungen und den Functionen der organischen Wesen bestehen, wird *a priori* geschlossen werden dürfen, dass die Thätigkeit und Vermehrung der Mikroorganismen sowohl, als auch das Auftreten der verschiedenen Formen derselben im Boden von einer Reihe von Factoren beherrscht wird. In der That zeigen die vorliegenden Untersuchungen, dass die Luftzufuhr, die Feuchtigkeit, die Wärme, das Licht, gewisse chemische Verbindungen u. s. w. von grösstem Einfluss auf die Intensität und die Natur der Zersetzungsprocesse im Boden sind.

Bezüglich der Luftzufuhr haben die Untersuchungen von Schlösing [1]) ergeben, dass die Salpeterbildung von der Menge des zugeführten Sauerstoffs abhängig ist, aber selbst bei einer beschränkten Sauerstoffzufuhr noch beträchtlich sein kann. Als nämlich dieser Autor durch fünf in weite Glasröhren gefüllte Proben eines humusreichen Bodens (à 2 kg) Mischungen von Sauerstoff und Stickstoff in wechselnden Verhältnissen hindurchleitete, wurden vom 5. Juli bis 7. November 1872 folgende Salpetersäuremengen gebildet:

Sauerstoff in der Luft	1·5 Proc.	6 Proc.	11 Proc.	16 Proc.	21 Proc.
Salpetersäure	45·7 mg	95·7 mg	132·5 mg	246·6 mg [2])	162·6 mg [2]).

Wie man sieht, nahm die Menge der Salpetersäure mit dem Sauerstoffgehalt des Luftgemisches beträchtlich zu; die Salpeterbildung war aber noch bei geringer Zufuhr des Sauerstoffs nicht unbedeutend, ein Umstand, der sich vielleicht auf die Versuchsanordnung zurückführen lässt. Es wurde nämlich das Luftgemisch, um die in dem Boden abgeschlossene Atmosphäre jeder Zeit constant zu erhalten, durch die Röhre hindurchgeleitet, wobei selbst bei geringem Sauerstoffgehalt desselben noch ziemlich ergiebige Mengen für die Oxydation disponibel waren. Dass bei beschränktem Zutritt des Sauerstoffs die Nitrification schliesslich sistirt wird, ergiebt sich aus der bereits oben angeführten Thatsache, dass unter solchen Umständen zuletzt die im Boden befindliche Salpetersäure reducirt wird, ferner aus den Beobachtungen Boussingault's [3]) und Millon's [4]), denen zu Folge ein durchnässter, wenig luftführender Boden nicht nitrificationsfähig ist. Demnach wird, wie übrigens auch aus den Ergebnissen der bezüglichen Versuche Soyka's [5]) hervorgeht, angenommen werden dürfen, dass von einer

[1]) Comptes rendus, 1873, T. 77, p. 203 u. 353.

[2]) Schlösing giebt an, dass möglicherweise eine Verwechselung der beiden Proben stattgefunden haben konnte.

[3]) Comptes rendus, T. LXXVI, p. 22.

[4]) Ibid., T. LIX, p. 282.

[5]) Zeitschrift für Biologie, 1878, Bd. XIV, S. 462.

gewissen Minimalgrenze an der Nitrificationsprocess mit steigender Sauerstoffzufuhr beschleunigt wird, und dass unter jener Grenze der entgegengesetzte Process in die Erscheinung tritt.

In gleicher Weise wie für die Salpeterbildung ist die Luftzufuhr für die Kohlensäureproduction belangreich. Nach den hierüber vorliegenden Versuchen Schlösing's[1]) und meinen noch nicht veröffentlichten Untersuchungen hält zwar die Kohlensäureentwickelung gleichen Schritt mit der Sauerstoffzufuhr, aber sie ist bei dem Ueberschreiten einer gewissen Grenze, bei welcher der Sauerstoffgehalt etwa 8 Proc. von der Luft beträgt, unabhängig von den zugeführten Sauerstoffmengen und sie hört selbst dann nicht vollständig auf, wenn der Boden mit einem bei dem Zerfall der organischen Substanz nicht betheiligten Gase (Stickstoff, Wasserstoff) oder mit Wasser vollständig erfüllt ist. So fand z. B. Schlösing bei Zufuhr von einem Luftgemisch:

				Mit	
	reinem Stickstoff	6 Proc.	11 Proc.	18 Proc.	21 Proc. Sauerstoff
die tägliche Kohlensäuremenge in 1 kg Erde	9·3	15·9	16·0	16·6	16·0 mg

Der Boden producirte demnach bei circa 6 Proc. Sauerstoffgehalt dieselbe Kohlensäuremenge, wie bei Zufuhr von atmosphärischer Luft (mit 21 Proc.) und lieferte noch ansehnliche Quantitäten bei vollständigem Luftabschluss. In letzterem Falle kann die Kohlensäure offenbar nur auf Kosten des Sauerstoffs reducirbarer Substanzen entstehen. Zu diesen sind zu rechnen die Salpetersäure und die höheren Oxydationsstufen des Eisens und Mangans, die bei vermindertem Luftzutritt desoxydirt und in die niederen Oxydationsstufen verwandelt werden.

Von hervorragender Bedeutung für die Leistungsfähigkeit der in Rede stehenden Organismen erweist sich ferner der Wassergehalt des Bodens. Ein mittlerer Feuchtigkeitsgehalt des letzteren scheint der Entwickelung des Salpeterfermentes am günstigsten zu sein, während ein höherer oder niedrigerer Wassergehalt die Oxydation der stickstoffhaltigen Stoffe herabsetzen. Erde, die in lebhafter Nitrification begriffen ist, kann durch Austrocknen vollständig steril gemacht werden. Im Uebrigen nimmt der Zerfall der organischen Substanzen mit dem Wassergehalt des Bodens bis zu einer bestimmten Grenze zu, wie aus der Zunahme der Kohlensäuremenge mit steigendem Wassergehalt des Erdreichs unter sonst gleichen Verhältnissen entnommen werden kann. So fand ich[2]) z. B. den Kohlensäuregehalt der Bodenluft pro 1000 Vol. bei einem Wassergehalt des Bodens von:

---

[1]) l. c. — [2]) Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, herausgegeben von E. Wollny, 1881, Bd. IV, S. 14.

2·91 Proc.	12·91 Proc.	22·91 Proc.	32·91 Proc.
zu 1·64	2·40	4·49	9·02 Vol.

Wenngleich nach diesen sowie anderen von Möller[1]) und v. Fodor[2]) angestellten Versuchen angenommen werden muss, dass mit der Vermehrung des Wassergehaltes die Zersetzung der organischen Bestandtheile des Bodens beschleunigt wird, so darf doch nicht ausser Acht gelassen werden, dass das Wasser über ein gewisses Mass hinaus eine retardirende Wirkung ausübt, indem mit der Vermehrung desselben die disponible Sauerstoffmenge vermindert wird. Wird letztere übermässig verringert, so bildet sich die Kohlensäure im Boden nur noch auf Kosten der leicht reducirbaren Verbindungen und es nimmt der Zersetzungsprocess einen anderen Charakter in der oben näher beschriebenen Weise an.

In Rücksicht darauf, dass die Zersetzungsvorgänge im Boden an die Thätigkeit von Organismen geknüpft sind, kann es nicht Wunder nehmen, dass auch die Temperaturverhältnisse hierbei eine grosse Rolle spielen. Bezüglich der Oxydation des Stickstoffs lehrten die Versuche von Schlösing, dass dieselbe bei 5° C. äusserst langsam vor sich geht; bei 12° C. ist sie deutlich wahrnehmbar, bei 37° C. erreicht sie ihr Optimum und hört bei 55° C. vollständig auf. Die Verbindung des Sauerstoffs mit dem Kohlenstoff erfolgt unter ähnlichen Bedingungen. So betrug in meinen Versuchen[3]) der Kohlensäuregehalt der von einer feuchten Composterde eingeschlossenen Luft (auf 1000 Vol.):

Bei einer Temperatur von . . .	10°	20°	30°	40°	50° C.
Kohlensäure im Mittel	2·80	15·46	36·24	42·61	76·32 Vol.

Mit steigender Temperatur nimmt demnach die Kohlensäureentwickelung bedeutend zu, sie erreicht das Optimum etwa bei 50 bis 60° C. und hört, wie anderweitige Versuche[4]) darthun, selbst bei unter 0° C. gelegenen Temperaturen nie ganz auf.

Ausser der Wärme übt auch das Licht einen Einfluss auf die organischen Processe des Bodens aus. Nach Soyka[5]) beeinträchtigt dasselbe die Salpeterbildung, während Dunkelheit in dieser Beziehung von günstiger Wirkung ist. Von zwei Proben von Kies, der mit verdünntem Harn befeuchtet worden war, wurde die eine dem Licht ausgesetzt, die andere demselben entzogen. Es fand sich Stickstoff in Form von Nitraten und Nitriten auf 100 cbcm Harn

---

[1]) Mittheilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs, Bd. I, Heft 2.

[2]) Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser, Braunschweig, 1882. 2. Abthlg., S. 44.

[3]) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, Bd. IV, 1881, S. 5.

[4]) Ibid. und J. Möller, Mittheilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs, Bd. I, Heft 2.

[5]) J. Soyka, Zeitschrift für Biologie, Bd. XIV.

	Versuch I.	Versuch II.
bei Lichteinfluss	19 mg	110 mg
ohne „	86 „	360 „

zu demselben Resultat gelangte Warington[1]).

Schliesslich käme in Betracht, dass gewisse Stoffe die Zersetzungsvorgänge im Boden nach dieser oder jener Richtung hin zu beeinflussen vermögen. In den obigen Mittheilungen wurden bereits einige Substanzen angeführt, welche die Zersetzung der organischen Stoffe in ausserordentlichem Grade beeinträchtigen (Chloroform, Schwefelkohlenstoff, Carbolsäure, Borsäure, Thymol, Benzol)[2]). Diesen sind verschiedene Metallsalze hinzuzuzählen, durch welche wahrscheinlich die für die Entwickelung niederer Organismen so bedeutungsvollen Eiweissstoffe der organischen Substanzen in den unlöslichen Zustand übergeführt werden. In gleicher Richtung wirkt die Gerbsäure, welche mit den Eiweissstoffen unlösliche Verbindungen eingeht. Es mag hierauf die geringe Zersetzbarkeit des Torfes beruhen, auf welchen bekanntlich sehr gerbsäurereiche Pflanzen wachsen. Vor den Angriffen seitens der Mikroorganismen sind die organischen Bodenbestandtheile ferner mehr oder weniger geschützt, wenn denselben Aetzkalk zugeführt wird, der, entgegen den herrschenden Anschauungen, nach eigenen und den Untersuchungen E. Wolff's[3]) und Nessler's[4]) die Zersetzung verzögert. Concentrirte Salzlösungen wirken in demselben Sinne. Ebenso scheint ein grösserer Kohlensäuregehalt der Bodenluft selbst in dem Falle die Thätigkeit der Mikroorganismen im Boden zu beeinträchtigen, wo die Menge des disponiblen Sauerstoffs zu weiteren Oxydationen noch vollständig ausreichend wäre. Andererseits ist es sehr wahrscheinlich, dass ungebundene Eiweissstoffe, verdünnte alkalische Flüssigkeiten u. s. w. der Zersetzung Vorschub leisten.

Sieht man von den zuletzt geschilderten Erscheinungen ab, so ergiebt sich aus vorstehenden Betrachtungen im Allgemeinen die Schlussfolgerung, dass die Functionen der bei den Oxydationsprocessen im Boden betheiligten Organismen beschleunigt werden, in dem Grade die Intensität der einzelnen maassgebenden Factoren zunimmt, dass bei Erreichung einer gewissen Grenze ein Maximum der Leistung der Function eintritt, dass diese aber über jene Grenze hinaus wieder abnimmt, bis schliesslich ein Stillstand eintritt und der Zersetzungsprocess, in Folge des massenhafteren Auftretens von anderen, durch die geänderten

---

[1]) R. Warington, Landwirthschaftliche Versuchsstationen, 1879, Bd. XXIV, S. 161 bis 166.

[2]) J. Soyka fand, dass Salicylsäure eine ähnliche Wirkung ausübt, a. a. O.

[3]) Landwirthschaftliche Versuchsstationen, 1859, S. 141.

[4]) J. Nessler, Bericht über Arbeiten der Versuchsstation Karlsruhe. 1870.

Lebensbedingungen in ihrer Thätigkeit und Vermehrung geförderten Organismen, einen von dem vorigen wesentlich verschiedenen Charakter annimmt.

Aus dem ersten Theil des Satzes folgt, dass die maassgebenden Factoren, wenn sie in der gleichen Richtung ihren Einfluss geltend machen, sich unterstützen werden und dass die Leistungsfähigkeit der Organismen ihren Höhepunkt erreichen wird, wenn alle äusseren Bedingungen in dem vortheilhaftesten Verhältniss vorhanden sind. Ausreichende Luftzufuhr vorausgesetzt, wird demnach die Zersetzung der organischen Stoffe am intensivsten vor sich gehen, wenn gleichzeitig mit dem Eintritt des Maximums der Bodentemperatur die günstigsten Feuchtigkeitsmengen in dem Boden vorhanden sind. Dafür sprechen deutlich folgende Zahlen [1]):

Kohlensäuregehalt der Bodenluft [2])

Wassergehalt des Bodens	Bodentemperatur				
Proc.	10° C.	20° C.	30° C.	40° C.	50° C.
6·79	2·03	3·22	6·86	14·69	25·17
26·79	18·38	54·24	63·50	80·06	81·52
46·79	35·07	61·49	82·12	91·86	97·48

Unter natürlichen Verhältnissen machen sich indessen die Wirkungen der verschiedenen Factoren selten in derselben, sondern meistens in entgegengesetzter Richtung geltend, wodurch der Effect in mannigfachen Modificationen in die Erscheinung tritt. So kann z. B. der Einfluss der Temperatur unter Umständen beeinträchtigt oder aufgehoben werden, wenn nicht genügende Mengen von Wasser im Boden enthalten sind. Umgekehrt lässt sich die Abhängigkeit der Zersetzungsprocesse von der Bodenfeuchtigkeit nicht beobachten, wenn die Temperatur eine sehr niedrige ist. Ein eclatantes Beispiel dieser Art liefert folgender, von mir ausgeführter Versuch [3]):

Kohlensäuregehalt der Bodenluft [2]).

	Bodentemperatur				
	10° C.	20° C.	30° C.	40° C.	50° C.
	Wassergehalt des Bodens				
	46·8	36·8	26·8	16·8	6·8 Proc.
In 1000 Vol. Luft:	33·18	61·27	73·23	66·83	14·42 Vol.

Die höheren Temperaturen (40 und 50° C.) konnten demnach nicht zur Wirksamkeit gelangen, weil das Wasser im Boden in unzureichenden Mengen vorhanden war.

---

[1]) Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. Herausgegeben von E. Wollny, Bd. IV, S. 15.

[2]) In 1000 Vol.

[3]) Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. IV, S. 16.

In analoger Weise, wie Temperatur und Wasser, werden sich die übrigen die Thätigkeit der Bodenorganismen beherrschenden Factoren verhalten, und zwar bezüglich des einen wie des anderen der früher näher beschriebenen Zersetzungsprocesse. Daraus folgt der weitere, für die Beurtheilung der Vorgänge im Boden wichtige Satz, **dass die Zersetzungsprocesse im Boden in quanto et quali von demjenigen Factor beherrscht werden, der im Minimum vorhanden ist.**

Dieser Satz erleichtert uns wesentlich das Verständniss für den eigenthümlichen Verlauf der in der Natur im Boden sich abspielenden, äusserst complicirten Processe, wie in der Folge gezeigt werden soll.

Bei näherem Eingehen auf die Ursachen der überaus wechselnden Erscheinungen in den Zersetzungsvorgängen im Boden gelangt man sehr bald zu der Ueberzeugung, dass der Verlauf jener Processe sowohl von den physikalischen Verhältnissen des Bodens als auch von den klimatischen und meteorologischen Elementen hauptsächlich influirt wird.

Mit Rücksicht auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens interessirt uns an erster Stelle die Permeabilität für Luft und Wasser. Im natürlichen Zustande des Bodens ist diese Eigenschaft vorzüglich von der Grösse der Bodenpartikel abhängig, d. h. der Boden ist im Allgemeinen um so leichter für Wasser und Luft durchdringbar, je grösser die ihn zusammensetzenden Elemente sind und *vice versa* [1]). Durch Lockerung [2]) wird die Weite der Bodenporen und damit die Durchlässigkeit des Bodens erhöht, und zwar bei feinkörnigen Böden in stärkerem Grade als bei grobkörnigen. Wird andererseits der Boden verdichtet [3]), so tritt die entgegengesetzte Wirkung ein.

Nicht unwichtig für die hier vorliegenden Verhältnisse ist auch der Umstand, dass die Permeabilität je nach der Tieflage der einzelnen Schichten bei einer und derselben Bodenart sich verschieden gestaltet. Die oberen Schichten sind gemeinhin der Luft leichter zugänglich als die tieferen, weshalb in ersteren vorwiegend Oxydations-, in letzteren vielfach Desoxydationsprocesse in die Erscheinung treten [4]).

Ausser der Durchdringbarkeit des Bodens für Wasser und Luft ist das sonstige Verhalten desselben dem ersteren gegenüber von hervorragendem Einfluss auf die Thätigkeit der oben beschriebenen Organismen.

In dem Verhalten der Böden zum Wasser treten die erheblichsten Verschiedenheiten hervor, welche ihren Grund in der

---

[1]) F. Renk, Zeitschrift für Biologie Bd. XV, 1879, Heft 1 und G. Ammon, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. III, 1880, S. 209.

[2]) E. Wollny, Ibidem Bd. V, 1882, S. 145.

[3]) E. Wollny, Ibidem Bd. V, 1882, S. 1.

[4]) G. J. Mulder, Die Chemie der Ackerkrume, Berlin 1862, Bd. II, S. 28 und 34.

Structur des Bodens, d. h. in der Grösse und Zusammenlagerung der Bodentheilchen haben.

Stellt man sich zunächst den Boden in seinem natürlichen Gefüge vor, so können die zwischen den kleinsten Theilchen befindlichen Hohlräume in ihrer Continuität als Capillarröhrchen aufgefasst werden. Da diese je nach den Bodenarten einen grösseren oder kleineren Durchmesser besitzen, so wird die Leitung des Wassers in ihnen sich verschieden gestalten müssen. Im Allgemeinen ergiebt sich, dass das Wasser um so höher capillar gehoben und um so langsamer geleitet wird, je feiner die Bodentheilchen sind [1]). Eine von der geschilderten wesentlich abweichende Bewegung wird inzwischen durch das Vorhandensein nicht capillarer Hohlräume, wie sie bei der Lockerung geschaffen werden, veranlasst. Die kleinsten Bodentheilchen vereinigen sich hier zu Bröckchen und diese, aneinander gelagert, bilden Hohlräume, welche wegen ihrer Grösse keine capillare Erscheinungen zeigen können. Das Aufsteigen des Wassers wird in Folge dessen verlangsamt [1]) und kann nur auf Umwegen vor sich gehen, da die capillare Aufsaugung, durch die grösseren Hohlräume mannigfach unterbrochen, nur durch die in den Bröckchen enthaltenen Zwischenräume stattfindet. Dagegen beschleunigen die nicht capillaren Hohlräume die Abwärtsbewegung des von oben kommenden Wassers, welches in dieselben vermöge seiner Schwere leicht eindringen kann.

Auch die Wassercapacität der Böden, welche in denjenigen Wassermengen ihren Ausdruck findet, die eine Volumeinheit des Bodens festzuhalten vermag, ist, wenigstens zum grösseren Theil, auf capillare Erscheinungen zurückzuführen.

Die Hohlräume zwischen den Bodentheilchen zeigen sich selbstverständlich von verschiedener Grösse und bilden so gewissermaassen ein System von Capillarröhrchen grösseren und geringeren Durchmessers. Durch das von unten hergeführte Wasser wird der Boden bis zu der Grenze capillar gesättigt, bis zu welcher sämmtliche Hohlräume capillare Wirkung besitzen. Von da ab findet das Aufsteigen durch die zunächst kleineren und kleinsten Hohlräume statt, bis schliesslich nur die engsten wirken und zuletzt die Wassertheilchen nur noch durch Flächenattraction festgehalten werden. Es ergiebt sich daraus, dass der Wassergehalt in den auf einander folgenden Schichten sehr verschieden, unten am grössten, und je weiter nach oben, um so geringer sein wird. Von der Oberfläche her wird der Wassergehalt lediglich durch Flächenattraction und die kleinsten Capillarräume bedingt, denen dann immer mehr Capillarräume hinzutreten, entsprechend dem Abstande von dem Wasserreservoir.

---

[1]) H. von Klenze, Landwirthschaftliche Jahrbücher Bd. VI, 1877, S. 83. — W. Edler, Die capillare Leitung des Wassers etc., Inaugural-Dissertation, Göttingen 1882.

Bezeichnet man nun diejenige Wassermenge, bei welcher der Feuchtigkeitsgehalt, unter Voraussetzung genügender Mächtigkeit der Erdschicht constant wird, auf das Volumen bezogen, als Wassercapacität (kleinste oder absolute Wassercapacität nach Ad. Mayer[1]), so ist diese um so grösser, je feiner und poröser der Boden und je grösser dessen Gehalt an organischen Substanzen ist.

Mit der Capillarität steht im Uebrigen auch die Durchlässigkeit des Bodens, wenigstens grösstentheils im Zusammenhange. In Bodenarten mit schneller capillarer Leitung und geringer Wassercapacität sinkt das Wasser der Niederschläge schnell in grössere Tiefen und die durch eine Bodenschicht von bestimmter Mächtigkeit hindurchsickernden Wassermengen sind bedeutend grösser als unter entgegengesetzten Verhältnissen. Je krümeliger der Boden ist, um so grösser sind natürlich die durch denselben gesickerten Wassermengen[2]).

In dem Verhältniss des Wassers zum Boden ist ferner die Wasserverdunstung in Betracht zu ziehen. Von der Oberfläche, weniger aus tieferen Schichten des Erdreiches, verdunstet fortwährend Wasser. Dieser Verlust wächst in dem Grade, als der Boden mehr Wasser enthält und das Wasser leichter an die Oberfläche capillar zu heben vermag.

Sieht man von Nebenumständen ab, so lassen die bisher angestellten Forschungen deutlich erkennen, dass die Unterschiede in den durch die Wassercapacität zum Ausdruck kommenden Wassermengen durch jene in der Durchlässigkeit und Verdunstung nicht wesentlich alterirt werden, und zwar weil der grösseren Wasserabgabe in die Tiefe eine geringe an der Oberfläche entspricht.

Für die im Boden vorhandenen Wassermengen ist schliesslich die physikalische Beschaffenheit des Untergrundes maassgebend. Je nachdem der denselben bildende Boden eine grössere oder geringere Wassercapacität, eine langsamere oder schnellere Wasserleitung besitzt, müssen unter sonst gleichen Verhältnissen grössere oder geringere Wassermengen in den höheren Schichten auftreten. Bei undurchlässigem Untergrunde sammelt sich Grundwasser auf demselben an, welches je nach den Schwankungen, welche es erfährt und je nach der Mächtigkeit und den physikalischen Eigenschaften der oberhalb gelegenen Bodenschichten letztere in verschiedener Weise durchfeuchtet.

Die unter den jeweiligen localen Verhältnissen im Boden auftretenden Wassermengen resultiren aus der Gesammtwirkung aller vorbezeichneten Factoren.

Im Allgemeinen werden zu den nassen Böden jene zu rechnen sein, welche eine langsame capillare Wasserleitung, grosse Wassercapacität

---

[1]) Ad. Mayer, Landwirthschaftliche Jahrbücher Bd. III, 1874, S. 753.

[2]) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. V, S. 1 u. 145.

und eine undurchlassbare Schicht in nicht zu grosser Tiefe besitzen, zu den trockenen diejenigen, denen eine schnelle capillare Wasserleitung und eine geringe Wassercapacität beiwohnt, und die zugleich auf einem durchlässigen Untergrunde lagern. Zwischen diesen Gegensätzen werden je nach dem physikalischen Verhalten der oberen wie tieferen Schichten die mannigfachsten Uebergänge stattfinden.

Neben der physikalischen Beschaffenheit des Erdreichs sind unter natürlichen Verhältnissen für dessen Feuchtigkeitsgehalt noch mehrere andere Factoren von maassgebendem Einfluss, so die Neigung und die Lage der Flächen gegen die Himmelsrichtung, die Bedeckung des Bodens mit Pflanzen oder mit leblosen Gegenständen (abgestorbenen Pflanzentheilen, Streudecke, Steine u. s. w.). In Bezug hierauf haben meine Versuche zu dem Ergebniss geführt, dass der Boden um so trockener, je stärker er geneigt ist, dass er an Südabhängen die geringsten, an Nordabdachungen die grössten Wassermengen enthält, während die Ost- und Westseiten einen mittleren Feuchtigkeitsgehalt besitzen[1]). Hinsichtlich des Einflusses der Bodendecke[2]) wurde gefunden, dass der Wassergehalt des Bodens unter einer Decke lebender krautartiger Pflanzen (Gräser, Futter- und Ackerpflanzen) stets bedeutend geringer ist, als in gleicher Schicht des vegetationslosen Bodens, und dass letzterer wiederum geringere Mengen von Wasser in sich einschliesst als derselbe Boden, wenn er mit leblosen Gegenständen oder mit Wald[3]) bedeckt ist.

Ausser dem Feuchtigkeitsgehalte kommt der Bodenwärme, wie früher gezeigt, eine wichtige Wirkung auf die Zersetzung der organischen Stoffe zu. Hinsichtlich der Frage, ob die Böden in ihrer Erwärmung thatsächlich grosse Unterschiede aufzuweisen haben, ist zunächst zu constatiren, dass die Sonnenstrahlen, als die hauptsächlichste Wärmequelle, von den Böden in verschiedener Weise aufgenommen und abgegeben werden. Im Allgemeinen werden die von der Sonne ausgehenden Licht- und Wärmestrahlen vom Boden in um so höherem Grade absorbirt und bei aufgehobener Insolation emittirt, je dunkler gefärbt derselbe ist. Im Durchschnitt ist der dunkle Boden während der wärmeren Jahreszeit wärmer als der helle. Aber nicht in allen Fällen trifft dies zu. Die Farbe der Oberfläche hat auf die Erwärmung der Böden nur dort einen Einfluss, wo das Verhalten der mineralischen Bestandtheile ein annähernd gleiches und die Menge der organischen Substanzen so gering ist, dass zwar die Farbe dadurch dunkler wird, aber die übrigen für die Wärme maassgebenden Factoren keine bedeutende

[1]) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. VII.

[2]) E. Wollny, Der Einfluss der Pflanzendecke und der Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften und die Fruchtbarkeit des Bodens, Berlin 1877, Paul Parey.

[3]) E. Ebermayer, Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden, Berlin 1873.

Abänderung erfahren. Wird diese Grenze im Humusgehalt überschritten oder treten in ihren sonstigen physikalischen Eigenschaften grössere Unterschiede auf, so kann der Einfluss der Farbe vermindert oder wohl vollständig beseitigt werden[1]).

Von der Absorptionsfähigkeit des Bodens, welche durch dessen Färbung im Wesentlichen bedingt wird, ist nun aber die Temperatur, bis zu welcher sich ein solcher Boden im Sonnenschein erwärmt, allein nicht abhängig, denn Zufuhr einer gewissen Wärmemenge entspricht durchaus nicht einer gewissen Temperaturerhöhung. Es sind, um zu letzterer zu gelangen, noch wesentlich drei Momente zu berücksichtigen nothwendig: die Wärmecapacität, die Wärmeleitung und der Verbrauch von Wärme durch Leistung von Arbeit.

Die specifische Wärme (Wärmecapacität[2]) der Bodenarten, d. h. die Wärmemenge, welche zur Erwärmung der Volumeinheit des Bodens[3]) bis auf eine bestimmte Temperatur (berechnet auf Wasser = 1) nöthig ist, ist bei den organischen Substanzen (Humus) des Bodens am kleinsten (circa 0·14), bei dem Quarz am grössten (0·32), während der Thon und Kalk zwischen beiden stehen. Die Unterschiede im Verhalten der Wärme gegenüber werden aber wesentlich durch den Einfluss des Wassers modificirt, welches in allen Böden in grösseren oder geringeren Mengen enthalten und dessen Wärmecapacität bedeutend grösser (3 bis 6 mal grösser) ist, als die der übrigen Bodenbestandtheile.

Was demnächst die Wärmeleitung betrifft, so haben die vielfachen hierüber bisher angestellten Untersuchungen[4]) ergeben, dass die humosen Substanzen die Wärme am langsamsten leiten, während die schnellste Fortpflanzung im Quarzsand erfolgt und der Thon zwischen beiden steht; ferner, dass der Boden im nassen und feuchten Zustande besser leitet als im trockenen, dass bei dichter Lagerung der Bodentheilchen die Fortpflanzung der Wärme besser ist als bei lockerer und dass die Wärmeleitung im Boden mit der Abnahme des Feinheitsgrades desselben steigt.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Erwärmung des Bodens äussert dessen Wassergehalt[5]). Ist dieser so gross, dass selbst bei warmer Witterung die Oberfläche sich feucht erhält, so ist der Boden kälter,

---

[1]) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. I, 1878, S. 43 und Bd. IV, 1881, S. 327 und C. Lang, Ibid. Bd. I, 1878, S. 379.

[2]) C. Lang, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. I, 1878, S. 109. — A. R. von Schwarz, Erster Bericht d. landw. chem. Versuchsstation in Wien, Wien 1878, S. 51 und ff.

[3]) A. von Liebenberg, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. I, 1878, S. 34.

[4]) E. Pott, Die Landwirthschaftlichen Versuchsstationen Bd. XX, S. 273 und F. Wagner, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. VI, 1883, S. 1.

[5]) E. Wollny, Landwirthschaftliche Jahrbücher Bd. V, 1876, S. 441 und Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. V, 1883, S. 147.

als ein trockener, ungeachtet er im feuchten und nassen Zustande die Wärme besser leitet. Die Ursache hiervon wird in der durch Verdunstung des Wassers an der Oberfläche des Bodens entstehenden Abkühlung zu suchen sein. Böden dagegen, bei welchen im feuchten Zustande während warmer Witterung die Oberfläche leicht abtrocknet, zeigen die entgegengesetzte Erscheinung: sie erwärmen sich am Tage höher als der trockene Boden. Die abgetrocknete obere Schicht hält nämlich die Wasserverdunstung auf und damit kommt die im Vergleich zum trockenen Zustande prävalirende Wärmeleitungsfähigkeit der feuchteren tieferen Schichten zur Geltung[1]).

Aus diesen Mittheilungen ergiebt sich, dass die Böden je nach ihren physikalischen Eigenschaften die Sonnenwärme in verschiedenem Grade ausnutzen. Die an bestimmten Oertlichkeiten beobachtete Bodentemperatur ist das Product des Einflusses sämmtlicher vorerwähnter Factoren. Im Allgemeinen zeichnen sich die humusreichen Erdarten durch grössere Gleichmässigkeit der Temperatur vor allen übrigen aus; bei wärmerer Witterung sind sie kälter, bei sinkender Temperatur beträchtlich wärmer als der Quarzsand, bei welchen das Entgegengesetzte der Fall ist. Der Thon bleibt immer niedriger in der Temperatur als der Humus.

Neben der physikalischen Beschaffenheit des Bodens erweisen sich die Neigung des Terrains, die Lage desselben gegen die einzelnen Himmelsstriche und die Bedeckung von hervorragendem Einfluss auf die Bodentemperatur.

Bei verschiedener Neigung des Terrains gegen den Horizont zeigt sich, je nach der geographischen Breite des Ortes, die Erdwärme bei einem bestimmten Neigungswinkel am höchsten, während bei flacheren und steileren Hängen die Erwärmung geringer ist. So liegt z. B. in München das Maximum der Bodentemperatur im Sommer bei 20° Neigung, im Frühling und Herbst bei 30°.

Bei verschiedener Lage des Bodens gegen die Himmelsrichtung (Exposition)[2]) sind die südlichen Seiten die wärmsten, dann folgt die Ost- und Westseite und die niedrigste Temperatur zeigt die Nordabdachung. Die bezüglichen Unterschiede sind selbst bei geringen Erhebungen deutlich nachweisbar und um so grösser, je stärker die Neigung der Flächen ist.

Von hervorragendem Einfluss auf die Temperatur des Bodens erweist sich schliesslich die Bedeckung[3]) desselben mit lebenden

---

[1]) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. III, 1880.

[2]) Kerner, Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie Bd. VI, 1871, S. 65. — E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. I, 1878, S. 263.

[3]) E. Wollny, Der Einfluss der Pflanzendecke und der Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften und die Fruchtbarkeit des Bodens, Berlin 1877, Paul Parey.

Pflanzen oder leblosen Gegenständen (abgestorbene Pflanzentheile, Streu u. s. w.). Indem diese Materialien den directen Einfluss der Sonnenstrahlen hindern und die Wärme schlecht leiten, wird durch sie die Bodentemperatur während der wärmeren Jahreszeit bedeutend herabgedrückt, während der kälteren Jahreszeit dem Boden dagegen ein Schutz gegen stärkere Erkaltung gewährt.

Aus dieser kurzen Darlegung der einzelnen Momente, welche das Verhalten des Bodens zur Luft, zum Wasser und zur Wärme bedingen, geht zur Genüge hervor, dass die für die Zersetzungsprocesse wichtigsten physikalischen Eigenschaften je nach inneren und äusseren Ursachen sich äusserst verschieden gestalten müssen.

Sehen wir von Nebenumständen, namentlich von den äusseren Modificatoren ab, so sind bei einer und derselben Bodenart die verschiedenen physikalischen Eigenschaften in Rücksicht auf die Thätigkeit und Vermehrung der Mikroorganismen nicht gleichwerthig, d. h. sie kommen bei der Zersetzung der organischen Substanzen nicht in derselben, sondern vielfach in entgegengesetzter Richtung zur Geltung. Einige Beispiele werden genügen, die in dieser Beziehung bestehenden Gesetzmässigkeiten klar zu legen.

Wie gezeigt, wächst die Luftcapacität mit dem Durchmesser des Kornes, während die Wassercapacität in demselben Verhältnisse abnimmt. Der Luftcapacität ähnlich verhält sich die Temperatur, indem dieselbe während warmer Witterung um so höher, je grobkörniger der Boden ist [1]). In dem grobkörnigen Boden, z. B. Sandboden, wird die bessere Durchlüftbarkeit und die höhere Temperatur der Oxydation der organischen Substanzen förderlich, dagegen die geringere Wassercapacität derselben hinderlich sein. Zieht man auf der anderen Seite den feinkörnigen Boden (Thonboden) in Betracht, so zeigen sich die Rollen, welche den vorbezeichneten Factoren zugemessen sind, ganz anders vertheilt. Die Permeabilität ist hier eine geringe, die Temperatur eine niedrige, dagegen die Wassercapacität eine hohe. Erstere beiden Eigenschaften werden der Verbrennung der organischen Stoffe Hindernisse in den Weg stellen, letztere Eigenschaft derselben Vorschub leisten.

Wie sich im Einzelfalle der Verlauf des organischen Processes gestaltet, hängt hauptsächlich von dem im Minimum auftretenden Factor ab. Abgesehen von den bezüglichen Einwirkungen, welche diesen oder jenen Factor ins Minimum bringen, hat sich in den angezogenen Beispielen die Permeabilität für Luft von durchschlagendstem Einflusse gezeigt. In dem grobkörnigen Boden vollzieht sich im Allgemeinen die Verwesung der organischen Substanzen schneller als im fein-

---

[1]) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. V, 1882, S. 167.

körnigen Boden, eine Thatsache, die durch die Ergebnisse verschiedener Versuche von Fleck[1]) erhärtet wird, welche zeigten, dass der Stallmist und ähnliche Substanzen, Thierleichen u. s. w., in gut durchlüftetem Boden (Sand, Kies) viel schneller verwesen, als in für Luft schwer zugänglichen Böden (Thon, Lehm). Zwischen diesen Gegensätzen werden, je nach dem Vorwiegen dieses oder jenes Bodenconstituenten, die mannigfachsten Uebergänge stattfinden, die in ausserordentlichen Unterschieden bezüglich des Verwesungsprocesses im Boden zu Tage treten.

Die durch verschiedene Neigung des Bodens gegen den Horizont hervorgerufenen Verschiedenheiten in den Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen sind für die im Boden stattfindenden Zersetzungsvorgänge von nicht minderem Belang, wie die physische Beschaffenheit des Erdreichs. Zureichende Wassermengen vorausgesetzt, stellt sich die lebhafteste Oxydation auf denjenigen Flächen ein, welche am stärksten von der Sonne bestrahlt werden, in München, gemäss den oberen mitgetheilten Ergebnissen eigener Versuche[2]), im Frühjahr und Herbst bei 30°, im Sommer bei 20° Neigung des Terrains.

In gleicher Weise wird die Verwesung der organischen Stoffe des Bodens modificirt je nach der Lage desselben gegen die Himmelsrichtung[2]). Auf südlichen Abhängen ist dieselbe bei nicht zu trockener Witterung stärker wegen vergleichsweise höherer Temperatur, als auf dem kälteren Nordabhang. Die Ost- und Westseiten stehen in dieser Beziehung der Regel nach zwischen beiden Extremen.

Von durchgreifendstem Einfluss auf die Intensität der organischen Processe im Boden erweist sich die Pflanzendecke[3]). In dem brachliegenden, unbedeckten Erdreich, welches sich nach obigen Mittheilungen bedeutend stärker erwärmt und ungleich grössere Wassermengen enthält, als das mit Gräsern und krautartigen Pflanzen bestandene, unterliegen die organischen Stoffe einem stärkeren Zerfall als im letzteren. Dies spricht sich deutlich in dem Gehalt an denjenigen Stoffen aus, welche als Endproducte der Verwesung auftreten, und deren Menge unter sonst gleichen Verhältnissen als Maassstab für die Intensität des organischen Processes dienen kann.

So fand Waringston[4]) Nitratstickstoff in Kilogrammen per Acre:

Agdell-Feld				Hoos-Feld	
I.		II.			
Bohnenfeld	Brachfeld	Bohnenfeld	Brachfeld	Weizenfeld	Brachfeld
9·2	22·0	4·8	16·3	1·2	15·1

[1]) Fleck, III. bis V. Jahresbericht der chemischen Centralstelle in Dresden, 1874 bis 1876.

[2]) Die Veröffentlichung der betreffenden Versuche erfolgt in einem der nächsten Bände der Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik.

[3]) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. III, 1880, S. 1.

[4]) Journ. of the Soc. of arts, 1882, T. 30, p. 532.

Bezüglich des Kohlensäuregehaltes wurden in den von mir angestellten Versuchen[1]) ganz gleiche Unterschiede gefunden. Im Mittel von je 21 Versuchen betrug der Kohlensäuregehalt der Bodenluft (auf 1000 Vol. bei 0° C. und 760 mm Luftdruck):

Grasland	Brachland
1·99	8·83

Der bewaldete Boden zeigt ein anderes Verhalten[2]). Indem derselbe während der wärmeren Jahreszeit eine niedrigere Temperatur besitzt als das Freiland, kann die Zersetzung in demselben nicht so intensiv verlaufen, wie im letzteren Falle. Daher enthält der bewaldete Boden, trotz des meist höheren Gehaltes an organischen Stoffen, eine bedeutend geringere Menge von Kohlensäure, als das unbedeckte Ackerland.

Eine der Brache gleichkommende Wirkung übt die öfters wiederholte Lockerung des Bodens, wie solche bei der Ackercultur gebräuchlich ist, auf die Zerstörung der organischen Stoffe aus. Dafür spricht die aus den Untersuchungen von Lawes und Gilbert[3]), sowie von Dehérain[4]) hevorgehende Thatsache, dass der mit Ackerpflanzen bestellte, öfter gelockerte und mehr oder weniger lange Zeit hindurch brachliegende Boden sehr bedeutende Mengen Stickstoff, vorzüglich durch Auswaschung der in demselben gebildeten Salpetersäure verliert, während in dem viele Jahre hindurch mit perennirenden Futterpflanzen bestandenen, nicht gelockerten Boden, wie die Versuche von Dehérain[5]) und Joulie[6]) aufs Deutlichste erkennen lassen, der Stickstoffgehalt sich constant erhält. Offenbar befördert die starke Luftzufuhr in Folge der Lockerung, im Verein mit der höheren Temperatur und den günstigeren Feuchtigkeitsverhältnissen den Zerfall der organischen Substanzen und die Oxydation des Stickstoffs. Wird der Boden hingegen nicht gelockert und überdies mit sehr dichtstehenden und desshalb stark transpirirenden Futterpflanzen[7]) bestellt, so ist der Verlauf des Verwesungsprocesses wegen des verminderten Luftzutrittes, der niedrigen Temperatur und der geringen Wassermenge verlangsamt und die Menge der gebildeten Nitrate desswegen eine so kleine, dass nicht leicht davon ein Ueberschuss auftreten kann. Auf bindigen Boden-

---

[1]) E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd III, 1880, S. 1.

[2]) E. Ebermayer, Ibid. Bd. I, 1878, S. 158.

[3]) Lawes and Gilbert, Journ. of the royal agric. Soc. of England Vol. XVII, 1881, p. 241 und 311, Vol. XVIII, 1882, p. 1.

[4]) P. Dehérain, Annales agronomiques T. VIII, 3. Fasc., 1882, p. 321.

[5]) Ebendaselbst.

[6]) H. Joulie, Revue des Industries chimiques et agricoles T. V, Nr. 52, 1881, p. 350.

[7]) E. Wollny, Der Einfluss der Pflanzendecke und Beschattung u. s. w.

arten kann unter gleichen Umständen der Luftzutritt schliesslich derart beschränkt werden, dass die Desoxydationsprocesse vorherrschen. Dies giebt sich deutlich aus der unter derartigen Verhältnissen stattfindenden Umwandlung der höheren Oxydationsstufen des Eisens in die niederen zu erkennen.

Dass auch das Grundwasser und dessen Schwankungen an den in Rede stehenden Processen betheiligt sind, wird nicht bezweifelt werden können, wenn man berücksichtigt, dass die Durchfeuchtung der obersten Bodenschichten vielfach von dem Stande des Grundwassers influirt wird. Wo dasselbe alle Schichten des Erdreichs bis zur Oberfläche durchtränkt, werden hauptsächlich durch Spaltpilze bedingte Fäulnissprocesse in die Erscheinung treten. In dem Grade die Schichten von dem Grundwasser befreit werden und der Luft dadurch Zutritt zu den Bodenbestandtheilen gewährt wird, wird die Vermehrung und Thätigkeit derjenigen Organismen gefördert, welche die Oxydationen zu besorgen haben.

Mit Zugrundelegung der vorstehenden, in Kürze geschilderten Gesetzmässigkeiten wird man zwar vielfach im Stande sein, das Maass des Einflusses jedes einzelnen Factors unter concreten Verhältnissen festzustellen, allein in der Mehrzahl der Fälle wird es der Hinzuziehung der klimatischen und meteorologischen Elemente bedürfen, um eine allseitig richtige Vorstellung von den Ursachen und Wirkungen zu gewinnen. Sind schon die im Boden selbst liegenden Factoren in den wechselvollsten Combinationen bei der Verwesung und Fäulniss der organischen Bestandtheile betheiligt, so ist dies in einem noch viel höheren Grade der Fall, wenn Klima und Witterung hier mitwirkend eintreten.

Berücksichtigt man, dass der Wassergehalt und die Temperatur des Bodens in hervorragender Weise bei den Zersetzungserscheinungen betheiligt sind, und dass beide Factoren, abgesehen von den Modificationen, denen sie je nach der physischen Beschaffenheit und Lage des Bodens unterworfen sind, vorzüglich von dem Klima beeinflusst werden, so wird man a priori schliessen dürfen, dass je nach dem durchschnittlichen Zustande der betreffenden meteorologischen Elemente auch der Verlauf der organischen Processe im Boden unter übrigens gleichen Verhältnissen je nach der Oertlichkeit ein verschiedener sein werde.

In letzterer Beziehung ist zunächst zu constatiren, dass in vielen Gegenden gewisse meteorologische Factoren mit grösserer Gleichmässigkeit auftreten, während andere grossen Schwankungen unterworfen sind. Letztere werden daher am meisten die organischen Processe im Boden beeinflussen. So ist z. B. das Münchener Klima im Allgemeinen durch verhältnissmässig grosse Gleichmässigkeit in den Niederschlägen charakterisirt. Demgemäss ist hier der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens

relativ geringen Schwankungen unterworfen, während die Temperaturverhältnisse desselben einem ungleich grösseren Wechsel unterliegen. Daher ist denn auch der Zerfall der organischen Substanzen des Bodens an diesem Orte von der Einwirkung der Temperatur vor Allem abhängig [1]).

Ganz anders wird sich der Einfluss des Klimas auf die Zersetzungsvorgänge in solchen Gegenden gestalten, wo die atmosphärischen Niederschläge mit grosser Unregelmässigkeit erfolgen, wie z. B. in heissen Klimaten [2]), in vielen Gegenden des germanischen Tieflandes u. s. w. Hier wird, und zwar um so mehr, je länger die Trockenperiode dauert, und je weniger der Boden die Fähigkeit besitzt, das Wasser in grösseren Mengen aufzuspeichern, die Bodenfeuchtigkeit in längeren Zeitabschnitten in nicht zureichenden Quantitäten vorhanden sein und dem entsprechend die höhere Temperatur der Verwesung nicht zu Statten kommen; letztere wird vielmehr vollständig beherrscht von der Menge und Vertheilung der atmosphärischen Wässer.

Für die Beurtheilung des Klimas ist weiter der Umstand wohl zu beachten, dass die Temperatur und die Niederschläge von dem Boden, je nach dessen physikalischer Beschaffenheit, in verschiedener Weise ausgenutzt werden und dass demgemäss Klima und Boden in die mannigfachsten Wechselbeziehungen zu einander treten. So wird beispielsweise der organische Process in einem Sandboden in einem feuchten Klima aus den oben angeführten Gründen bebhaft von Statten gehen, in einem trockenen Klima dagegen in seiner Intensität eine bedeutende Einbusse erleiden, weil das Wasser in ungenügenden Mengen vorhanden sein wird. Unter gleichen äusseren Verhältnissen wird sich ein bindiger, das Wasser gut zurückhaltender Boden ganz anders verhalten. Indem derselbe gewissermaassen das Wasser aufspeichert, wird die Zersetzung in demselben von der Trockenheit, selbst wenn diese längere Zeit anhält, weniger beeinflusst und vorzüglich dem Gange der Temperatur folgen. Ist das Klima nass und feucht, so kann die Wassermenge sogar so gross werden, dass die der organischen Substanz zur Verfügung stehende Luftmenge ins Minimum geräth, und der Verwesungsprocess dadurch in einen Fäulnissprocess übergeführt wird.

Aehnliche Verschiedenheiten werden hervorgerufen, wenn die Eigenschaften des Bodens, von welchen die Zersetzungsprocesse in demselben vorzüglich beherrscht werden, durch gewisse zeitliche Verände-

---

[1]) v. Pettenkofer, Zeitschrift für Biologie Bd. VIII, 1871, S. 395; Bd. IX, 1873, S. 250. — G. Wolffhügel, Ibid. Bd. XV, 1879, S. 98 und Aerztliches Intelligenzblatt 1879, Nr. 4 und 5. — E. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik Bd. V, 1882, S. 307.

[2]) Lewis and Cuningham, Eleventh annual Report of the Sanitary Commission with the Government of India.

rungen in dem Zustande der Atmosphäre nach dieser oder jener Richtung hin verschoben werden. Einige Beispiele mögen zur Illustration dieser Verhältnisse hier eine Stelle finden.

Wie bereits angeführt, ist die Verwesung der organischen Stoffe im Boden in stärker geneigten Lagen intensiver als bei kleinerem Neigungswinkel des Terrains. In München nahm die Kohlensäureproduction im Frühjahr und Herbst mit dem Neigungswinkel zu, weil in dem gleichen Grade die Erwärmung des Bodens eine geringere war. Dies traf jedoch nur so lange zu, als der Boden durch die atmosphärischen Niederschläge mit genügenden Feuchtigkeitsmengen versehen wurde. Trat nämlich anhaltende Trockenheit ein, so verlief die Zersetzung in entgegengesetzter Richtung; d. h. der Kohlensäuregehalt der Bodenluft nahm ab, je stärker der Boden geneigt war, weil letzterer in demselben Maasse austrocknete und das Wasser in den stärker geneigten Lagen viel eher ins Minimum kam, als in den schwächer geneigten.

Genau dieselben Erscheinungen machen sich bei verschiedener Exposition des Bodens bemerkbar. So lange der Boden einen genügenden Wasservorrath enthält, ist die Zersetzung auf der Südseite wegen höherer Temperatur durchschnittlich wesentlich stärker als auf der Nordseite. Allein da die Austrocknung in südlich exponirten Lagen beträchtlich grösser ist als in nördlicher Abdachung, so kommt es nicht selten vor, dass der Wassergehalt in ersterem Falle für die Zersetzung nicht mehr ausreicht und dass trotz der viel höheren Bodentemperatur die Intensität des organischen Processes weit unter diejenige auf der Nordseite herabgeht.

Für den verschiedenen Einfluss der Witterung auf die Zersetzungsvorgänge im Boden spricht ferner die Thatsache, dass dieselben unter übrigens gleichen Verhältnissen im brachliegenden Boden vorherrschend dem Gange der Temperatur, in dem mit einer Vegetation bedeckten Boden den Niederschlägen folgen. Erklärlich wird dies, wenn man sich erinnert, dass der nackte Boden feuchter ist als der mit Pflanzen besetzte, und dass die bezüglichen Unterschiede bei warmer, trockener Witterung am grössten sind, weil unter solchen Umständen die Wasserentnahme seitens der Pflanzen aus dem Boden in ausserordentlichem Grade zunimmt. Das Wasser ist aus diesen Gründen in dem mit Pflanzen besetzten Boden meistentheils in unzureichenden Mengen vorhanden und höhere Temperaturen können demselben daher hinsichtlich der Verwesung der organischen Stoffe nicht zu Statten kommen. Erst wenn durch ausgiebige atmosphärische Niederschläge der Boden gut durchfeuchtet wurde, steigt die Zersetzung und die Kohlensäureproduction nimmt zu. In dem nackten Boden ist andererseits das Wasser meist in ausreichenden Mengen vorhanden, so dass die Temperatur zur vollen Wirkung gelangen kann, zumal die Erwärmung des

Bodens wegen ungehinderter Insolation eine stärkere ist als im bebauten Lande.

Der Vollständigkeit wegen sei schliesslich noch darauf hingewiesen, dass die Niederschläge die Zersetzungsprocesse dadurch indirect beeinflussen können, dass sie die mechanische Beschaffenheit des Bodens in mehrfacher Beziehung verändern.

Hiermit bin ich am Schlusse. Ich glaube das Endresultat meiner Darlegung dahin präcisiren zu können, dass alle Veränderungen, welchen die organischen Stoffe im Boden unterliegen, fast ausschliesslich durch den Lebensprocess niederer Organismen vermittelt werden, und dass die Thätigkeit der letzteren von demselben Naturgesetz beherrscht wird, nach welchem die Lebenserscheinungen der höheren Pflanzen geregelt sind, d. h. dass die Functionen der Mikroorganismen im Boden von denjenigen der maassgebenden Factoren abhängig sind, der im Minimum auftritt, und dass sie von hier ab an Intensität zunehmen, je günstiger sich die äusseren Lebensbedingungen gestalten. In Rücksicht auf die zahlreichen Belege für die ausserordentlichen Schwankungen, welchen diese Lebensbedingungen je nach der physikalischen Beschaffenheit des Bodens und dem jeweiligen Zustande der Atmosphäre unterworfen sind, glaube ich ferner den Nachweis geliefert zu haben, dass der organische Process im Boden eine Erscheinung ist, die aus einer Complication verschiedener theils sich unterstützender, theils gegenseitig aufhebender Ursachen herrührt und eben desswegen nicht, wie vielfach geschehen, aus einer einzigen Ursache erklärt werden kann.

In wie weit die mitgetheilten Thatsachen direct eine praktische Nutzanwendung in der Hygiene zulassen, ist eine Frage, deren Beantwortung ich den Fachgelehrten überlassen muss, weil dieselbe in ein mir ferner liegendes Gebiet gehört. Gleichwohl scheint mir, in Rücksicht auf die an anderer Stelle nachgewiesenen Beziehungen zwischen den Zersetzungsvorgängen im Boden und dem Auftreten und der Verbreitung gewisser ansteckender Krankheiten, die Annahme nicht ungerechtfertigt zu sein, dass die Ergebnisse der Specialuntersuchungen, welche ich mir an dieser Stelle mitzutheilen erlaubte, in manche dunkle Gebiete der Hygiene des Bodens einen lichtvolleren Einblick als bisher gewähren und somit den auf Ergründung der Ursachen der Infectionskrankheiten gerichteten Bestrebungen als Stütze dienen können.

3 0112 059080587